

맥동 효과를 이용한 dead-end type 연료전지의 성능향상에 대한 실험적 연구

최종원, 서정훈, 황용신, 이대홍, 차석원, 김민수[†]

서울대학교 기계항공공학부

An experimental study on the performance improvement of dead-end type PEMFC with pulsating effect

Jong Won Choi, Jeong-hoon Seo, Yong-Sheon Hwang, Dae Heung Lee, Suk Won Cha, Min Soo Kim[†]

School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University, Seoul 151-744, Korea

ABSTRACT: PEM Fuel Cell operation mode can be classified into dead-end mode or open mode by whether the outlet port is blocked or not. Generally, dead-end type fuel cell has some merits on the pressure drop and system efficiency because it can generate more power than the open type fuel cell due to high operating pressure condition. However, the periodic purging process should be done for removing water which is formed as product of a reaction in the gas diffusion layer. In this study, cathode side dead-end type operation has been conducted. Moreover, pulsating flow generator at the outlet of cathode side has been suggested for increasing the period to purge the formed water because the pulsating flow can make formed water scattered uniformly over the whole channel. As a result, the purging period with pulsation increased by 1.5-2 times longer than that without pulsating.

Key words: PEMFC, Dead-end, Anode, Cathode, Pulsation, Purging period

기호 설명

- T : 온도 [°C]
- P : 압력 (bar)
- RH : 상대습도(%)
- SR : 당량비
- f : 주파수(Hz)
- P : 압력 (bar)

1. 서론

수요량에 비해 생산량이 현저히 줄어든 석유 에너지는 심각한 자연 환경 문제를 일으킬 뿐 아니라 매장량이 유한하기 때문에 최근에는 모든 국가에서 대체에너지에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 수소에너지를 사용하는 연료전지 시스템은 현재의 내연 기관에 비하여 열효율이 높을 뿐 아니라 생성물 또한 청정하여 환경 친화적인 우수한 대체에너지로 각광 받고 있다.

그 중 고분자 전해질막 연료전지(PEMFC)는

[†] Corresponding author
Tel.: +82-2-880-8362; fax: +82-2-873-2178
E-mail address: minskim@snu.ac.kr

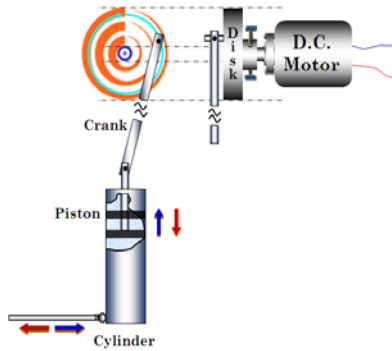


Fig. 1 Schematic of pulsating generator

시스템의 운영 방법에 따라 개방형(open type)과 폐쇄형(dead-end type)으로 나눌 수 있으며, 대부분의 연구가 개방형 운영을 대상으로 이루어지고 있다. 개방형 운전 모드에서는 특성상 연료의 이용율이 100% 이하가 되기 때문에, 필요한 전류를 생산하기 위한 연료의 양보다 공급되는 연료의 양이 많아야 한다. 또한, 가스 확산층으로 흡수 되지 못한 미반응 연료는 시스템 밖으로 물과 함께 배출되므로 별도의 재순환 시스템이 존재하게 된다. 반면 폐쇄형 모드로 운전되는 연료전지는 별도의 블로워 없이 압력으로만 연료를 공급하며, 연료의 이용율 또한 100% 가 되고, 반응 이후 생성된 수분이 항상 채널 내부에 존재하기 때문에 별도의 연료 공급 장치, 재순환 장치가

필요 없으며 가습 장치 또한 작아질 수 있는 장점이 있다. 또한 압력 손실이 적어 연료전지 채널 내부에 균일하게 압력이 가해지므로 개방형 모드 보다 항상 출력이 높게 나온다. 하지만 내부에서 생성되는 수분이 가스 확산층을 막음으로써 전지의 전압이 주기적으로 떨어지게 되므로 purging 과정이 꼭 필요하다. 이 과정에서 전압 안정성이 떨어지게 되며 수분과 함께 미량의 연료가 함께 배출된다.

따라서 본 연구에서는 폐쇄형 연료전지 운전 모드에서 한 주기내의 압력에 따른 전압의 변화를 알아보았고 개방형 모드 운전시의 출력과 비교를 하였다. 또한, Fig. 1 에서와 같이 연료 전지 후단에 맥동 유발 장치를 이용하여 연료 전지 후단에 쌓이게 되는 수분 분포를 얇고 균일하게 만들어 purging 주기를 늘려보았다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 2 는 실험장치의 개략도를 나타내었다. 실험에 사용된 연료전지는 단위셀로서, 반응 면적이 25cm^2 이며 연료 전지 내부는 $1\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ 의 단면을 갖는 5열 serpentine 으로 구성되어 있다. 멤브레인은 3M Corporation 에서 제조

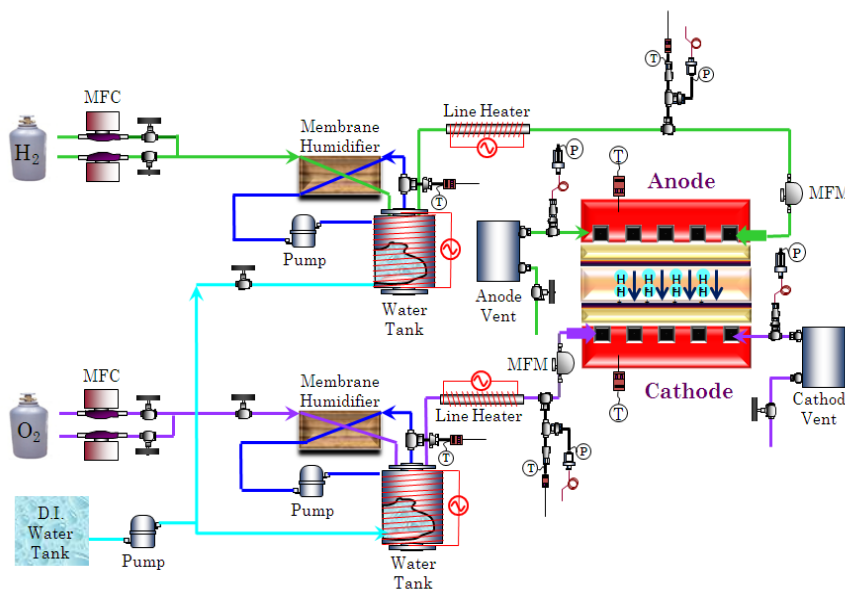


Fig. 2 Schematic diagram of experimental setup

된 217 타입을 사용하였다. 한편, 연료의 가습은 버블러와 막가습기를 동시에 사용하여 가습 효율을 높였으며, 연료전지의 출구에 솔레노이드 밸브를 설치해 전자 부하기에서 실시간으로 측정되는 전압 신호에 의해 purging 신호를 주었다. 반응 연료는 99.999% 순도의 수소와 99.995% 순도의 산소를 이용하였다.

2.2 실험조건

폐쇄형 운전 모드 시 purging을 하는 이유는 가스 확산층을 막고 있는 수분을 배출하기 위해서이다. 따라서 수분 관리를 통하여 주기의 변화를 알아보기 위하여 수소측 보다 수분의 생성량이 많은 산소측의 purging 주기를 먼저 알아보고, 맥동 효과가 주기에 미치는 영향에 관하여 알아보았다. 따라서 cathode측은 폐쇄, anode측은 개방 모드로 운전하였으며, 이때 수소의 당량비는 1.5로 유지하였다. 나머지 실험조건에 대해서는 Table 1 에 정리하여 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압력에 따른 전압 및 purging 주기의 변화

Fig. 3 은 1.8 A/cm^2 로 운전 시 cathode측 한 주기 내에서의 시간에 따른 압력과 전압의 변화를 나타낸 그래프이다. 그래프 같은 전압의 변화

는 모든 전류 밀도에서 같은 모습이 나타났다. 처음엔 출구 밸브가 열리는 순간 전압이 급격히 회복을 하게 되며 밸브가 닫히는 순간 물이 생성되면서 전압은 일정한 기울기를 가지고 떨어지게 된다. 하지만 곧 전압이 떨어지는 속도가 줄어들게 되며 어느 지점에서 부터는 다시 전압이 급격히 떨어지게 되는 모습을 볼 수 있다. 이는 초반에는 채널 안에 생성되어 있는 물이 빠져나가면서 전압이 급격히 회복이 되지만, 밸브가 닫히게 되면 물이 생성되면서 다시 전압이 떨어지게 된다. 하지만 출구가 열리게 되면서 흐르던 유체의 속도에 의한 동압이 속도가 0이 될 때의 정압인 1.5 bar 로 전환되어 연료의 반응 압력이 높아져 전압이 회복되는 것을 볼 수 있다. 따라서 이 구간에서는 잠시 떨어졌던 압력이 상승하면서 전압을 높여주려는 영향에 의해 전체적인 전압이 떨어지는 기울기는 작아지게 된다. 하지만 압력이 모두 회복된 이후에는 다시 물에 의한 영향만을 받게 되어 급격하게 떨어지는 모습을 볼 수 있다. 또한 purging 이후 전압이 평균적으로 7-8% 하강한 시점부터 급격하게 떨어지는 모습을 고려하여 본 연구에서는 최고 전압 대비 10% 하강하는 시점을 purging 시기로 결정하였다.

한편, Fig. 4 는 최고 전압 대비 10% 하강하였을 때 purging을 시키는 주기가 압력에 의해 어떠한 영향을 받고 있는지를 나타낸 그래프이다. 모든 주기는 30회 이상 측정을 하여 평균값으로 주기를 결정하였다. 그래프에 의하면, 같은 압력

Table 1 Test conditions for cathode dead-end type PEMFC experiment

Parameter	Anode	Cathode
Inlet temperature, T (°C)	70	
Relative humidity, RH (%)	100	
Pressure, P (bar)	1	1.5
Anode stoichiometric Number, SR	1.5	
Pulsating frequency, f (Hz)	2	
Pulsating Amplitude, A (mm)	10	

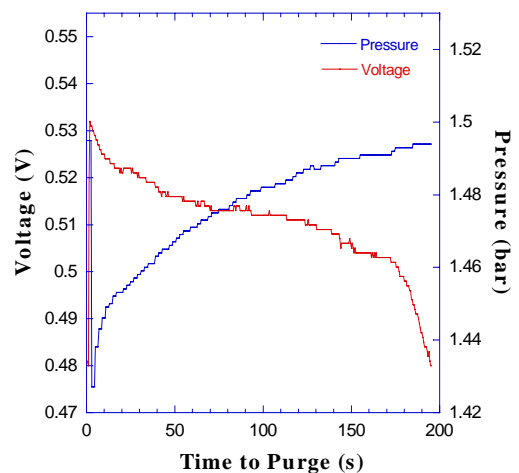


Fig. 3 Voltage variation related with pressure during the first period before purge for operating current density of 1.8 A/cm^2

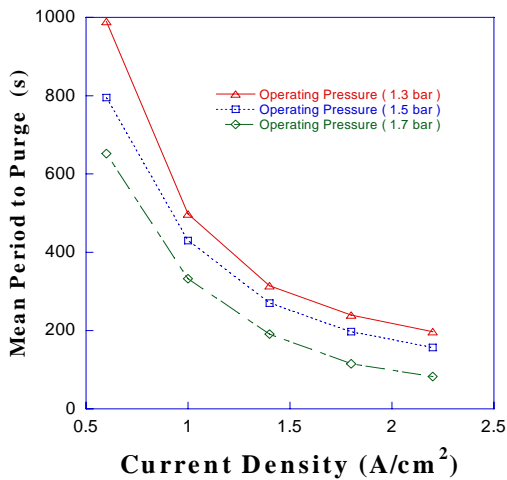


Fig. 4 Mean period under various operating pressure and current density conditions

조건에서는 전류밀도가 증가함에 따라 가스 확산층을 막게 되는 수분량이 증가하여 수분을 배출해 주어야 하는 주기가 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 같은 전류 밀도에서는 운전 압력이 높아질수록 출력 값은 증가하지만 주기는 짧아지는 경향을 보이고 있다. 이 역시 압력이 높아져 출력이 증가하면 생성되는 물이 많아져서 배출해 주어야 하는 수분도 많아진다는 것을 나타낸다.

3.2 개방형 운전과 폐쇄형 운전의 출력 비교

Fig. 5 는 전류 밀도가 1.8 A/cm^2 에서 개방형 운전과 폐쇄형 운전 모드에서의 전압을 측정할 그래프이다. 개방형 운전 모드에 비하여 폐쇄형 운전 모드에서 전압이 높은 구간에 위치하고 있음을 알 수 있다. 그래프를 적분하게 되면 전력량을 나타내게 되며 폐쇄형 운전 모드에서는 purging 에 의해 버리는 연료가 있지만 버리는 연료의 양에 비해 시간에 따라 얻는 전력량이 더 높음을 알 수 있었다. 이는 폐쇄형 운전 모드 시 산소의 압력이 연료 전지 내부에 균등하게 가해 지므로 개방형 운전에 비해 관내 압력 손실이 적으며 연료의 이용률이 100 %가 되기 때문이다. 일반적인 폐쇄형 운전 모드의 연료전지 시스템의 경우에 연료는 레귤레이터를 통해 정해진 압력만큼만 주입된다는 점을 감안하면 위 결과는 개방형 운전 모드에 비해 폐쇄형 운전 모드에서는 연

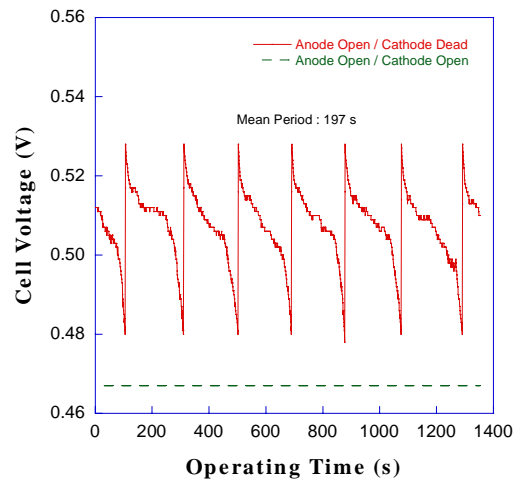


Fig. 5 Voltage comparison between open mode and cathodic dead-end mode for the current density 1.8 A/cm^2

료를 공급하기 위한 별도의 동력원 없이 보다 높은 출력을 얻을 수 있음을 의미한다.

3.3 맥동유동의 적용

Fig. 6은 전류 밀도가 1.8 A/cm^2 일 때, 산소측 후단에 맥동 유동을 가했을 때의 주기를 나타낸 그래프이다. 맥동은 10 mm 의 진폭, 2 Hz 의 주파수로 가하였으며 그 결과, 평균 주기는 330초로 기존의 같은 조건에서 실험하였던 Fig. 5에서

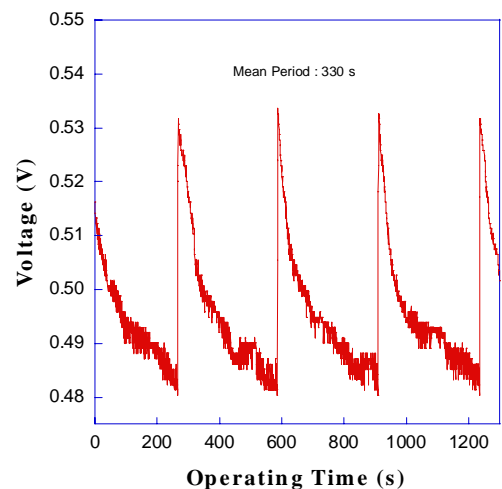


Fig. 6 Purging period in the cathodic dead-end type with pulsation effect for the current density 1.8 A/cm^2

나타난 평균 주기에 비교해 약 1.7배 가량 늘어남을 알 수 있었다. 이 그래프에서 한번 주기의 형태를 보면 전압이 강하하는 속도가 맥동에 의해 줄어드는 모습을 볼 수 있으며, 이로 인하여 주기는 늘어가는 것을 알 수 있다. 이는 연료전지 후단에 쌓여 있는 수분 및 물을 맥동을 통하여 균일하게 채널 내부로 퍼뜨리게 되어 가스 확산층을 막고 있는 수분을 빼주는 효과가 있기 때문이다. 따라서 폐쇄형 운전 모드의 연료 전지의 후단에 맥동유동을 적용할 경우 개방형 운전 모드에 비해 출력 및 전력량을 증가시키게 되며, 맥동이 없을 때에 비해 주기를 늘려주게 됨으로써 불필요하게 소모되는 연료를 줄일 수 있을 것이라 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 개방형 운전 모드와 폐쇄형 운전 모드로 고분자 전해질막 연료전지에 관한 성능 비교실험을 수행하였다. 한편, 폐쇄형 운전 모드의 단점인 purging 주기 문제를 맥동 유동을 통하여 늘릴 수가 있었다. 이때 purging 주기는 약 1.7배로 늘었고 이는 폐쇄형 운전 모드 시 purging 과정을 통해 버려지는 연료 소모량을 줄일 수 있으며, 같은 시간 내에서 더 많은 전력량을 생성할 수 있음을 의미한다.

참고문헌

1. Kazuya Tajiri, et al, 2008, Water removal from a PEFC during gas purge, *Journal of electrochimica acta*, Vol. 53, pp. 6337-6343.
2. Tao Yang, Pengfei Shi, 2008, A preliminary study of a six-cell stack with dead-end anode and open-slits cathode, *Int. journal of hydrogen energy*, Vol. 33, pp. 2795-2801.
3. Ph. Mocoteguy, et al, 2007, Monodimensional modeling and experimental study of the dynamic behavior of proton exchange membrane fuel cell stack operating in dead-end mode, *Journal of Power Source*, Vol. 167, pp. 349-357.
4. Olli Himanen, et al, 2007, Operation of a planar free-breathing PEMFC in a dead-end mode, *Journal of electrochemistry Communications*, Vol. 9, pp. 891-894.
5. L. Dumercy, et al, 2004, PEFC stack operating in anodic dead-end mode,
6. S. Hikita, et al, 2002, Power-generation in dead-end hydrogen fuel cell, *JSAE Review* 23, pp. 177-182.